

# MODELIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO NO PLANO INCLINADO: UM ESTUDO CLÍNICO

Juliana Machado

*Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ*

Marco Braga

*Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ*

**RESUMO:** Investigamos os modos pelos quais os elementos do processo de modelização tomam parte nos esquemas desenvolvidos por estudantes na situação de equilíbrio de um corpo no plano inclinado. Os elementos do processo de modelização considerados são inspirados pelo referencial de Mario Bunge sobre modelos científicos e as representações dos sujeitos são entendidas como conceitos-em-ação e teoremas-em-ação no sentido atribuído por Gérard Vergnaud. Como abordagem metodológica, optou-se pela realização de entrevistas clínicas. Foram entrevistados oito estudantes do Ensino Médio. Os resultados apontam que uma parcela dos entrevistados não emprega noções de distribuição de massa como pertinentes à situação de equilíbrio considerada. Constata-se, ainda, que os participantes não reconhecem espontaneamente a possibilidade de modelizar essa situação a partir de uma abordagem teórica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelização, Modelos, Conceitualização, Mecânica, Teoria dos Campos Conceituais.

**OBJETIVOS:** O ensaio faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo que pretende investigar os modos pelos quais os elementos do processo de modelização tomam parte nos esquemas desenvolvidos por estudantes de Ensino Médio no enfrentamento de situações no campo conceitual da Mecânica. Trata-se de um estudo qualitativo, de natureza exploratória. Considerando que a noção de centro de massa constitui um dos principais objetos-modelo da mecânica newtoniana, procuramos investigar se ela participa como um conceito-em-ação nos esquemas desenvolvidos pelos estudantes na situação relativa ao equilíbrio de corpos em um plano inclinado. Além disso, procuramos averiguar se ocorre a busca por alguma forma de modelo teórico no pensamento dos estudantes nessa situação. Por fim, também nos interessamos em analisar em que medida os estudantes relacionam essa situação com alguma teoria geral conhecida por eles, na ausência de sugestionamento.

Assim, as principais questões que nortearam essa investigação podem ser expressas como:

1. A noção de centro de massa e/ou distribuição de massa é um conceito-em-ação considerado pelos estudantes nessa situação? Em caso positivo, de que modo ela é considerada?
2. É possível identificar a procura por alguma forma de modelo teórico nos esquemas desenvolvidos pelos estudantes nessa situação?
3. Os estudantes relacionam a situação proposta a alguma teoria geral? Em caso positivo, qual a relação entre a teoria e o modelo na perspectiva dos estudantes?

## MARCO TEÓRICO

Do ponto de vista dos conhecimentos, a perspectiva teórica que fundamenta essa investigação é a noção de modelos como mediadores entre a teoria e a realidade. Iremos nos apoiar na dinâmica de modelização proposta por Mario Bunge, que destaca três elementos que tomam parte nesse processo: 1) Objetos-modelo: contrapartes conceituais dos objetos concretos, criados através de idealizações e abstrações, como massas pontuais; 2) Teorias Gerais: quadros teóricos amplos, como a Mecânica Newtoniana ou a Óptica Geométrica; e 3) Modelos teóricos: sistemas hipotético-dedutivos sobre os objetos-modelo e que permitem produzir explicações e previsões (Bunge, 1973), como o modelo do pêndulo simples. Modelos teóricos sobre o mesmo objetopodem ter diferentes graus de profundidade, de acordo com a abordagem usada. Algumas abordagens preocupam-se em procurar empiricamente relações entre as variáveis (chamadas pelo autor de “caixas-pretas”); outras desenvolvem os modelos teóricos a partir de um encaixe do objeto-modelo na estrutura de uma teoria geral (caixas “translúcidas”). Caixas-pretas fornecem apenas descrições e previsões do sistema modelizado, enquanto a segunda abordagem conduz a modelos com mais potencial explanatório, maior profundidade e mais integrado (Bunge, 1963; 1973). Considerando que esses elementos tem um papel significativo na estruturação do conhecimento científico, nossa proposta é investigar se alguma forma destes pode ser acessada nos esquemas de pensamento dos estudantes e, em caso positivo, que papel eles desempenham.

Por lidar com representações de sujeitos acerca de uma situação física particular - nesse caso, o modelo do pêndulo simples -, tratamos as ideias dos participantes como conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Essas categorias de pensamento são empregadas no sentido atribuído pelo psicólogo e didata Gérard Vergnaud, autor da Teoria dos Campos Conceituais, que tem como objeto o processo de conceitualização do real. Dentro dessa perspectiva, um conceito-em-ação é um conceito considerado pelo sujeito como relevante em uma dada situação, ao passo que um teorema-em-ação consiste em uma proposição considerada verdadeira (Vergnaud, 1998). Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação não são, necessariamente, correspondentes aos conceitos e teoremas científicos; trata-se de um conhecimento de natureza pessoal, ao qual o sujeito recorre face a uma tarefa a ele proposta.

## METODOLOGIA

A investigação das questões de pesquisa apresentadas requer acessar informações de natureza complexa e de caráter individual, com grau de aprofundamento suficiente para permitir interpretar processos cognitivos que formam representações conceituais. Por isso, optou-se por realizar entrevistas clínicas, procedimento cujo foco está na apropriação das formas pelas quais o conhecimento se estrutura e o raciocínio se processa (Clement, 2000).

Os materiais utilizados foram: caixinhas de fósforo vazias; bloquinhos feitos com grampos para grampeador; duas régua de acrílico de 30 cm, um alfinete comum e fita adesiva. Uma das régua foi utilizada como plano inclinado, sobre o qual apoiou-se a caixinha que deve ser equilibrada, sobre sua face lateral. Para evitar que a caixinha deslizesse para baixo, o alfinete foi preso à régua com fita adesiva. A segunda régua era mantida na vertical, ajudando a apoiar a primeira régua e permitindo a medida da altura do plano. Os bloquinhos foram utilizados para preencher as caixinhas de fósforo, permitindo quatro opções: (1) caixinha completamente vazia; (2) caixinha completamente cheia; (3) caixinha parcialmente preenchida, com os bloquinhos na parte de baixo; (4) caixinha parcialmente preenchida, com os bloquinhos na parte de cima.

Inicialmente, o sujeito é solicitado a prever a altura do plano no momento em que se atinge o ângulo de tombamento da caixinha para cada configuração. Questiona-se por quais motivos o sujeito espera que a ordem será como a que previu. Convida-se então a testar suas hipóteses e a formular novas

explicações, conforme o caso. O participante manipula livremente o aparato durante a proposição das tarefas. Desenvolve-se a partir de então uma discussão em torno das seguintes questões:

1. Como a posição dos bloquinhos influencia a altura de queda?
2. O que faz a caixinha tombar? Qual é a condição para que ela tombe?
3. É possível prever a altura de tombamento da caixinha sem fazer o experimento? Em caso positivo, como poderia ser feita essa previsão?

Os participantes são oito estudantes de segundo ano do ensino médio-técnico, que aceitaram voluntariamente fazer parte da pesquisa. Todos os participantes foram entrevistados individualmente e as entrevistas foram gravadas em vídeo, transcritas e analisadas.

## RESULTADOS

Especificamente sobre o objeto-modelo central da pesquisa, o centro de massa (CM) ou o centro de gravidade (CG), foi possível notar uma conceitualização parcial, que revelava distintos significados de acordo com a questão que era apresentada ao sujeito. Esses termos não foram citados pela entrevistadora antes de serem mencionados espontaneamente pelo entrevistado, o que ocorreu apenas nos casos de Alex, Davi, Eric, João e Luna. Mesmo nesses casos, os significados atribuídos ao termo são múltiplos, ainda que apresentem algumas convergências. Por exemplo, Luna conceitua que *“centro de gravidade dela é meio que onde a força está dividida, né? Tipo um meio-termo de tudo.”* Em outro momento, Luna parece pensar no CG como um vetor: *“Está aqui assim [posiciona o dedo indicador, apontando verticalmente para baixo, na região próxima de onde estão os bloquinhos].”* João relaciona o CG com o ponto de apoio, sem distingui-los: *“Porque eu acho que muda o centro de gravidade da caixinha.”* (João); Ao explicar a condição de tombamento, Davi indica: *“... se o centro de massa ele estiver... um pouquinho aqui do apoio, um pouquinho adiante do apoio, ele não cai. Mas se ele passar, aí ele cai, entendeu?”* (Davi).

Apenas Alex, Eric, Ivan e João preveem que a caixinha completamente vazia deve tombar no mesmo ponto que a caixinha completamente cheia. Todos justificam essa previsão com base em um teorema-em-ação segundo o qual as alturas de tombamento estão relacionadas à diferença de peso entre um lado e outro da caixinha, como ilustra a fala de Eric: *“Acho que o que faz diferença é a diferença entre um lado e outro, e não a massa total da caixinha.”* (Eric).

Em outra perspectiva, Caio, Davi, Luna e Maya esperam que a caixinha totalmente cheia tombe a uma altura diferente da caixinha totalmente vazia. Luna prevê que a caixinha cheia a uma altura maior do plano, pois *“... quanto mais pesadinha ela for, [...] ela fica mais presinha aqui [na régua].”* O peso maior teria, assim, um papel de “prender” mais firmemente a caixinha à régua.

É interessante notar o caso de Davi, o único entrevistado que havia relacionado as posições do centro de massa e do ponto de apoio para determinadas a altura de tombamento, também espera que a caixinha cheia tombe a uma altura maior do que vazia; *“Por esse aqui ser mais pesado, essa setinha aqui [vetor da força peso], seria maior.”*

Maya esperava que a caixinha cheia caísse um pouco depois da configuração com o peso em cima. Testa com o aparato e reconhece que o tombamento ocorre antes do que ela havia previsto, mas não consegue explicar: *“Não, porque a minha explicação era que [...] o peso fazia com que ela ficasse parada por mais tempo, aguentasse um pouco mais do que a caixinha vazia. E não foi isso.”*

Caio faz uma previsão diferente para a caixinha cheia: *“Antes dela vazia, ela cai, com certeza. [...] quanto maior massa, maior o peso, aí mais tendência pra ir pra baixo ele tem.”* Ao testar, comenta que o tombamento foi próximo de onde ela caiu quando estava vazia e observa: *“Tem alguma coisa a ver com ter maior peso aqui [perto do alfinete], perto do obstáculo, [...] Agora, por quê, eu não estou entendendo.”*

Outro aspecto de interesse nessa pesquisa foi a investigação de como os sujeitos relacionam a situação concreta proposta com alguma forma possível de teorização. Nesse ponto, foi possível notar uma tendência geral entre os participantes a considerar que há alguma estrutura teórica de fundo que deve permitir fazer a previsão da altura de tombamento, que tende a ser vista como uma “fórmula” ou como uma relação entre variáveis do problema. Ao se questionar se é possível obter a previsão da altura pedida sem realizar o experimento, inicialmente a maioria dos entrevistados respondeu de forma positiva:

*“Relacionado peso, mais ou menos o ponto onde a caixinha está presa, tipo a área de contato com esse ponto [área de contato entre a caixinha e o alfinete]” (Alex); “Acho que já é né, porque já fizeram o experimento, eles acharam a fórmula lá” (Luna); “Olha, deve ter. Eu devo ter por experiência própria que teve pelo menos setenta exercícios de rampa na minha vida...” (Ivan); - “Acho que assim... sabendo o peso da caixinha e... eu acho que o ângulo” (Maya); E o que eu teria que ter além desses dados? “A relação entre eles” (Maya).*

Passamos a inquirir sobre como cada sujeito considera que tal relação possa ser obtida. Em particular, queríamos avaliar se os sujeitos reconheceriam alguma conexão com alguma teoria geral, considerando que já estudaram a mecânica newtoniana no ano letivo anterior. Nenhum entrevistado citou nenhuma teoria geral: a maioria negou a possibilidade de obtenção dessa relação por outra via, como ilustram os seguintes exemplos:

*- Como podemos conseguir essa relação?*

*“Aí que eu acho que é complicado sem fazer experimento” (Alex) Você acha que não dá porque você acha que você não iria conseguir, ou você acha que não dá mesmo? “Eu acho que não dá mesmo” (Alex); - “... o cara observou o que acontecia e foi ver qual era [...] ele achou tipo uma fórmula” (Luna). E será que poderia achar a “fórmula” sem fazer experimento? “Acho que não” (Luna); - “alguma fórmula...” (Eric); Ok, mas seja como for esta fórmula, ela pode ser conseguida de maneira não-experimental? “Eu acho que pode” (Eric) A partir de que? “Bom, a partir dessas três variáveis, a questão é como é que você vai colocar essas três variáveis” (Eric); - Ele teria que de alguma forma prever isso, sem fazer o experimento” (Maya); E dá para prever isso sem fazer o experimento? “[Pausa] Eu acho que não” (Maya).*

## CONCLUSÕES

O reconhecimento dos teoremas-em-ação pertinentes a uma dada situação pode não vir acompanhado do reconhecimento dos conceitos-em-ação pertinentes àquele teorema: assim, por exemplo, no caso de Davi, a condição de tombamento era conhecida (na forma da relação entre o centro de massa e o ponto de apoio), porém o conceito de centro de massa não é invocado na comparação entre caixinhas com distribuições diferentes. Em uma parcela dos entrevistados, é possível notar a consideração da distribuição da massa no interior da caixinha, enquanto para outra esse conceito-em-ação não é mobilizado, e os teoremas-em-ação giram em torno apenas do peso total da caixinha.

Essas observações conduzem-nos a destacar a importância da conceitualização de objetos-modelo no desenvolvimento de uma modelização do real. Objetos-modelo são, por natureza, ideias; são inobserváveis e portanto não estão “dados”. Contudo, estão presentes até mesmo em modelos mais próximos a caixas-pretas. É possível que as práticas de ensino mais tradicionais que enfatizam a apresentação direta de modelos teóricos, sem um cuidado maior com a construção dos objetos conceituais aos quais esses modelos se referem - que são objetos modelo - negligenciem esse aspecto do desenvolvimento das habilidades de modelização dos estudantes.

Também notou-se uma forte convicção apresentada pelos sujeitos, de forma unânime, na existência de uma relação ou “fórmula” que permitiria fazer a predição do comportamento do objeto estudado. Nesse momento, foi possível perceber outra tendência razoavelmente homogênea do pensamento dos participantes: nenhum dos entrevistados mencionou a existência de alguma teoria geral a partir da qual a relação desejada pudesse ser obtida, ainda que todos os participantes já tivessem um estudo de Mecânica que ocupara todo o ano letivo anterior ao da realização da pesquisa. Embora não se esperasse, de fato, uma explicação teórica detalhada, é significativo que nenhuma forma de lei do movimento ou condição de equilíbrio tenha sequer sido mencionada como relacionada à situação. Esse resultado indica que é o próprio papel de guia heurístico (Custódio & Pietrocola, 2004) das teorias gerais que pode não estar sendo conceitualizado pelos estudantes. Trata-se, portanto, de um desafio a ser considerado nas propostas de práticas de modelização na educação científica escolar.

## REFERÊNCIAS

- BUNGE, M. (1963). A general black box theory. *Philosophy of Science*, 346-358.
- (1973) *Method, Model and Matter*. Dordrecht: Reidel.
- CLEMENT, J. (2000) Analysis of clinical interviews: Foundations and model viability. In Lesh, R. & Kelly, A. (Eds.), *Handbook of research methodologies for science and mathematics education* (pp. 341-385). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- CUSTÓDIO, J. F., & PIETROCOLA, M. (2004). Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos. *Ciência & Educação*, 10(3), 383-399.
- VERGNAUD, G. (1998). Toward a cognitive theory of practice. In Sierpinska, A. & Kilpatrick, J. (Eds.), *Mathematics education as a research domain: A search for identity* (pp. 227–241). Dordrecht: Kluwer.

